

Применение фокусированных ионных пучков для формирования АСМ-зондов

А.С. Коломийцев, С.А. Лисицын, А.А. Федотов

*Южный федеральный университет, 347922, г. Таганрог, Россия
askolomiytsev@sfnu.ru*

Представлены результаты исследований по формированию острия зондов для АСМ методом фокусированных ионных пучков. Сформированы зонды для методики CD AFM с высотой острия около 1 мкм и радиусом – 20 нм. Применение таких зондов позволяет повысить точность измерения рельефа по сравнению со стандартными зондами.

Application of focused ion beams for the fabrication of AFM probes

A.S. Kolomiytsev, S.A. Lisitsyn, A.A. Fedotov

Southern Federal University, 347922, Taganrog, Russia

The results of studies on the formation of the AFM probe tips using focused ion beams are presented. Probes for the CD AFM technique with a tip height of about 1 μm and a radius of 20 nm were formed. The use of such probes allows to improve the accuracy of the relief measurement in comparison with standard probes.

В настоящее время атомно-силовая микроскопия (АСМ) является одним из наиболее перспективных методов исследования структуры и свойств поверхности твердых тел с нанометровым пространственным разрешением [1]. Разрешающая способность АСМ во многом определяется формой и радиусом закругления используемого зонда. Значения этих параметров ограничены применяемыми технологическими процессами традиционной микроэлектроники, что влечет за собой появление артефактов при АСМ исследованиях. Используя локальные методы наноразмерного структурирования можно создавать острия АСМ-зондов с параметрами в значительной степени отличающимися от стандартных, что позволит свести к минимуму артефакты, повысить точность и разрешающую способность микроскопии. Одним из перспективных методов формирования острия АСМ-зондов является применение фокусированных ионных пучков (ФИП) [2]. Сущность метода ФИП заключается в локальном ионно-лучевом распылении материала потоком ионов галлия, сфокусированных до диаметра около 7 нм. При локальной подаче в зону воздействия ФИП химически активных газов можно реализовать операции локального ионно-стимулированного осаждения материалов (углерода, вольфрама, платины и др.). Сочетание прецизионного ионно-лучевого травления и ионно-стимулированного осаждения материалов позволяют формировать острия АСМ-зондов с параметрами, которые недостижимы при применении традиционных технологических процессов изготовления зондов. Особый интерес представляет применение фокусированных ионных пучков для формирования зондов для специализированных методик зондовой микроскопии, таких как апертурные зонды для ближнепольной оптической микроскопии или зонды для сканирующей зондовой микроскопии вертикальных поверхностей (методика CD AFM) [3]. В основе CD AFM лежит принцип детектирования силового взаимодействия боковой поверхности острия зонда с рельефом вертикальных плоскостей исследуемой структуры. Для этого на боковой поверхности зонда аксиально симметрично формируются выступы длиной около 20 нм.

В данной работе проведены экспериментальные исследования по формированию зондов для CD AFM методом фокусированных ионных пучков. Исследования производились с использованием растрового электронного микроскопа с системой фокусированных ионных пучков Nova NanoLab 600 (FEI Company). Острия CD AFM зондов формировались на основе стандартных АСМ кантилеверов NSG-11 с

поврежденным после интенсивного использования острием. На начальном этапе исследований методом ионно-лучевого травления ФИП удалялись остатки изношенного острия и формировалось основание для наращивания нового. Ток ионного пучка при травлении составил 1 нА, ускоряющее напряжение – 30 кэВ, время воздействия в точке – 1 мкс. На следующем этапе формировалось острие зонда методом ионно-стимулированного осаждения углерода. Высота сформированного зонда составила около 1,2 мкм, а диаметр – около 150 нм. Параметры ионно-стимулированного осаждения: ток ионного пучка – 0,1 нА, время воздействия в точке – 100 мкс, ускоряющее напряжение – 30 кэВ. После этого перпендикулярно острию острие формировались округлые выступы длиной около 120 нм и радиусом закругления 20 нм (рис. 1,а).

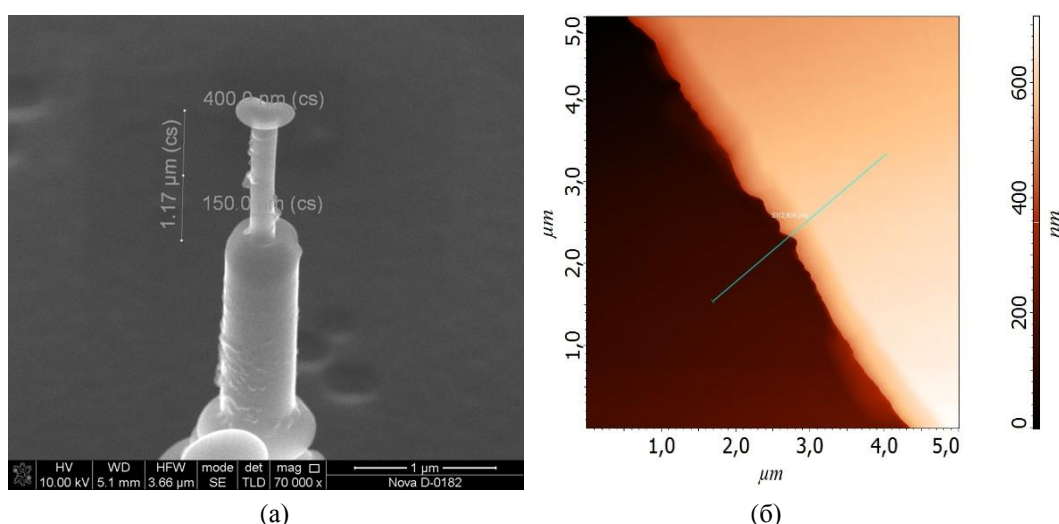


Рисунок 1. РЭМ-изображение сформированного острия зонда (а) и АСМ-изображение боковой поверхности фоторезиста (б).

Для тестирования сформированных зондов была изготовлена структура, представляющая собой ступеньку фоторезиста ПММА высотой 500 нм на поверхности кремния. АСМ-исследование шероховатости боковой поверхности осуществлялось на зондовой нанолaborатории Ntegra Vita (НТ-МДТ) с использованием стандартного зонда NSG-11 и зонда, сформированного методом ФИП. Было установлено, что применение стандартных зондов не позволяет оценить шероховатость поверхности боковых граней, тогда как использование модифицированного зонда позволило оценить шероховатость рельефа боковой грани (рис. 1,б), которая составила $9,44 \pm 1,96$ нм.

Таким образом, в работе показана перспективность применения технологии фокусированных ионных пучков для формирования АСМ-зондов для специализированных задач зондовой нанодиагностики. Показаны преимущества изготовленных зондов над коммерчески доступными при исследовании шероховатости боковых граней поверхности структур.

Работа выполнена в рамках Гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук (Проект № МК-6163.2016.8).

1. N.G. Orji, R. G. Dixon, *Meas. Sci. Technol.* **18**, 448 (2007).
2. B.G. Konoplev, O.A. Ageev, V.A. Smirnov, et al., *Russ. Microelectron.* **41** (2012).
3. O.A. Ageev, A.V. Bykov, A.S. Kolomiitsev, et al., *Semiconductors*, **49**, 13 (2015).